

4-3
03-15

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

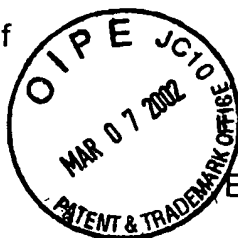
In re patent application of

K. Fukuchi

Serial No.: 09/991,689

Filing Date: Nov. 26, 2001

For: Optical Wavelength-Multiplexing Technique



Examiner: not assigned

Group Art Unit: 2874

Assistant Commissioner of Patents
Washington, D.C. 20231

SUBMISSION OF PRIORITY DOCUMENT

Sir:

Submitted herewith is a certified copy of Japanese Patent Application Number 2000-359559 dated November 27, 2000 which application the claim for priority is based.

Respectfully submitted,

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Michael E. Whitham".

Michael E. Whitham
Registration No. 32,635
703-787-9400



30743

PATENT TRADEMARK OFFICE

Dated: March 1, 2002

TC 2600 MAIL ROOM

MAR - 8 2002

RECEIVED

F05-567 UP



日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出 願 年 月 日
Date of Application: 2000年11月27日

出 願 番 号
Application Number: 特願2000-359559

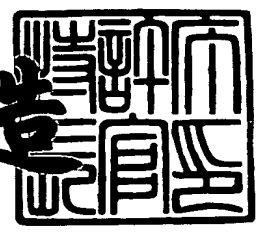
出 願 人
Applicant(s): 日本電気株式会社

RECEIVED
MAR-8 2002
TC 2800 MAIL ROOM

2001年 8月31日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

及川耕造



出証番号 出証特2001-3077809

【書類名】 特許願

【整理番号】 33509794

【提出日】 平成12年11月27日

【あて先】 特許庁長官 殿

【国際特許分類】 H04L 12/18

【発明の名称】 波長多重光送受信装置、波長多重光中継器、及び波長多重光通信システム

【請求項の数】 17

【発明者】

 【住所又は居所】 東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内

 【氏名】 福知 清

【特許出願人】

 【識別番号】 000004237

 【氏名又は名称】 日本電気株式会社

【代理人】

 【識別番号】 100108578

 【弁理士】

 【氏名又は名称】 高橋 詔男

【代理人】

 【識別番号】 100064908

 【弁理士】

 【氏名又は名称】 志賀 正武

【選任した代理人】

 【識別番号】 100101465

 【弁理士】

 【氏名又は名称】 青山 正和

【選任した代理人】

 【識別番号】 100108453

 【弁理士】

RECEIVED

【氏名又は名称】 村山 靖彦

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 008707

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9709418

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 波長多重光送受信装置、波長多重光中継器、及び波長多重光通信システム

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 光伝送路中を第 1 の波長多重光と第 2 の波長多重光とを互いに逆向きに伝送させて双方向に多重通信を行う波長多重光通信システムであって

前記第 1 の波長多重光の波長帯域は、前記第 2 の波長多重光の波長帯域よりも短波長側の波長帯域に設定され、

前記第 1 の波長多重光の波長帯域よりも短波長の励起光を、前記第 2 の波長多重光と同じ向きに伝播させる

ことを特徴とする波長多重光通信システム。

【請求項 2】 前記励起光の波長と前記第 1 の波長多重光の波長帯域との間隔は、前記光伝送路のラマン散乱特性に応じて設定されることを特徴とする請求項 1 記載の波長多重光通信システム。

【請求項 3】 前記第 1 の波長多重光及び前記第 2 の波長多重光を含む波長帯域は 1 0 0 n m 以上であることを特徴とする請求項 1 又は請求項 2 記載の波長多重光通信システム。

【請求項 4】 前記光伝送路の一端に設けられ、前記第 1 の波長多重光を前記光伝送路の一端から送信するとともに、前記光伝送路を介して伝送されてくる前記第 2 の波長多重光を受信する第 1 の波長多重光送受信装置と、

前記光伝送路の他端に設けられ、前記第 2 の波長多重光及び前記励起光を前記光伝送路の他端からそれぞれ送信及び入力するとともに、前記光伝送路を介して伝送されてくる前記第 1 の波長多重光を受信する第 2 の波長多重光送受信装置とを具備することを特徴とする請求項 1 から請求項 3 の何れか一項に記載の波長多重光通信システム。

【請求項 5】 前記第 1 の波長多重光及び前記第 2 の波長多重光をそれぞれ増幅するとともに、前記励起光とほぼ同一波長の励起光を前記光伝送路を伝播する前記励起光と同一方向に前記光伝送路へ出力する波長多重光中継器を前記光伝

送路中に設けたことを特徴とする請求項 4 記載の波長多重光通信システム。

【請求項 6】 前記光伝送路は、第 1 の光伝送路及び第 2 の光伝送路からなり、

前記第 1 の波長多重光送受信装置は、前記第 1 の波長多重光を前記第 1 の光伝送路の一端から送信するとともに、前記第 1 の光伝送路を介して伝送されてくる前記第 2 の波長多重光を受信し、且つ前記第 2 の波長多重光及び前記励起光を前記第 2 の光伝送路の一端からそれぞれ送信及び入力するとともに、前記第 2 の光伝送路を介して伝送されてくる前記第 1 の波長多重光を受信し、

前記第 2 の波長多重光送受信装置は、前記第 2 の波長多重光及び前記励起光を前記第 1 の光伝送路の他端からそれぞれ送信及び入力するとともに、前記第 1 の光伝送路を介して伝送されてくる前記第 1 の波長多重光を受信し、且つ前記第 1 の波長多重光を前記第 2 の光伝送路の他端から送信するとともに、前記第 2 の光伝送路を介して伝送されてくる前記第 2 の波長多重光を受信する

ことを特徴とする請求項 4 又は請求項 5 記載の波長多重光通信システム。

【請求項 7】 前記第 1 の波長多重光の波長帯域と前記第 2 の波長多重光の波長帯域との間に波長帯域が設定された第 3 の波長多重光を、前記第 2 の波長多重光と同じ向きに伝送させることを特徴とする請求項 1 から請求項 3 の何れか一項に記載の波長多重光通信システム。

【請求項 8】 前記第 3 の波長多重光の波長帯域の短波長側に、前記励起光の波長と前記第 1 の波長多重光の波長帯域との間隔と同程度の間隔をもって設定された励起光を前記第 2 の波長多重光と同じ向きに伝播させることを特徴とする請求項 7 記載の波長多重光通信システム。

【請求項 9】 前記第 2 の波長多重光送受信装置は、更に前記第 1 の波長多重光の波長帯域と前記第 2 の波長多重光の波長帯域との間に波長帯域が設定された第 3 の波長多重光を前記光伝送路の他端から送信し、

前記第 1 の波長多重光送受信装置は、更に前記光伝送路を介して伝送されてくる前記第 3 の波長多重光を受信する

ことを特徴とする請求項 4 又は請求項 5 記載の波長多重光通信システム。

【請求項 10】 前記第 1 の波長多重光は、波長 1 5 8 0 n m から 1 6 2 0

n mの波長帯域に含まれ、

前記第 2 の波長多重光は、波長 1 4 8 0 n m から 1 5 2 0 n m の波長帯域に含まれる

ことを特徴とする請求項 1 から請求項 6 の何れか一項に記載の波長多重光通信システム。

【請求項 1 1】 前記第 3 の波長多重光は、波長 1 5 3 0 n m から 1 5 6 0 n m の波長帯域に含まれることを特徴とする請求項 7 から請求項 9 の何れか一項に記載の波長多重光通信システム。

【請求項 1 2】 光伝送路を介して伝送されてくる第 1 の波長多重光を受信し、且つ前記第 1 の波長多重光の波長帯域よりも長波長側に波長帯域が設定された第 2 の波長多重光を前記光伝送路に送信するとともに前記第 1 の波長多重光の波長帯域よりも短波長の励起光を前記光伝送路に入力することを特徴とする波長多重光送受信装置。

【請求項 1 3】 前記励起光の波長と前記第 1 の波長多重光の波長帯域との間隔は、前記光伝送路のラマン散乱特性に応じて設定されることを特徴とする請求項 1 2 記載の波長多重光送受信装置。

【請求項 1 4】 前記第 1 の波長多重光及び前記第 2 の波長多重光を含む波長帯域は 1 0 0 n m 以上であることを特徴とする請求項 1 2 又は請求項 1 3 記載の波長多重光送受信装置。

【請求項 1 5】 伝送路中を互いに逆向きに伝送する第 1 の波長多重光及び当該第 1 の波長多重光の波長帯域よりも長波長側に波長帯域が設定された第 2 の波長多重光をそれぞれ増幅するとともに、前記第 1 の波長多重光の波長帯域よりも短波長の励起光を前記第 2 の波長多重光の出力方向と同一方向に出力することを特徴とする波長多重光中継器。

【請求項 1 6】 前記励起光の波長と前記第 1 の波長多重光の波長帯域との間隔は、前記光伝送路のラマン散乱特性に応じて設定されることを特徴とする請求項 1 5 記載の波長多重光中継器。

【請求項 1 7】 前記第 1 の波長多重光及び前記第 2 の波長多重光を含む波長帯域は 1 0 0 n m 以上であることを特徴とする請求項 1 5 又は請求項 1 6 記載

の波長多重光中継器。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、波長多重光送受信装置、波長多重光中継器、及び波長多重光通信システムに係り、特に1本の光伝送路で100nm以上の波長帯域を用いて双方向の大容量通信を行う波長多重光通信システム並びに当該波長多重光通信システムで用いられる波長多重光送受信装置及び波長多重光中継器に関する。

【0002】

【従来の技術】

光伝送路の代表である光ファイバを用いた通信では、光ファイバの広帯域性を利用して複数チャンネルに異なる波長を割り当ててそれらを多重化する波長多重により通信量の大容量化が図られる。かかる波長多重光を長距離伝送するためには、光ファイバ中を伝播する波長多重光を増幅する必要があるが、エルビウム添加光ファイバ増幅器（EDFA）に代表される光増幅中継器は、この波長多重光を一括して増幅することができるため、簡易で廉価に伝送距離を伸ばすことができる。

【0003】

この理由から、波長多重技術を用いた大容量長距離光ファイバ通信システムの研究開発が盛んに行われている。近年では、例えば、EDFAによって増幅可能な2つの波長帯域である1.55 μ m帯と1.58 μ m帯とを併用することにより一方向の信号伝送において64nmの光帯域を使用して、160波長の20Gb/s信号を多重した信号を、光増幅中継によって1500kmに亘って伝送したことが報告されている（T. Ito et al., "3.2Tb/s-1,500km WDM transmission experiment using 64nm hybrid repeater amplifiers." Optical Fiber Communication Conference, Postdeadline Papers, PD24）。

【0004】

通信量の更なる大容量化を目指すためには、波長帯域の拡大が不可欠である。しかしながら、光ファイバ増幅器として現在実用化されているEDFAでは、増

幅帯域が 1 5 3 0 n m から 1 5 6 0 n m の波長帯域、又は 1 5 7 0 n m から 1 6 2 0 n m の波長帯域に限られる。一方、シリカ系の光ファイバが比較的低損失となる波長域は 1 4 5 0 n m 付近までである。このため、波長多重光を長距離伝送するためには、1 4 5 0 n m から 1 5 3 0 n m までの波長帯域をカバーする光増幅技術が重要となっている。

【 0 0 0 5 】

近年、コアにツリウム元素を添加した光ファイバを用いて 1 4 5 0 n m から 1 5 3 0 n m までの間にある波長帯域をカバーする増幅器が案出されている（例えば、特開平 4 - 6 6 3 9 0 号公報）。かかる技術は、コアに希土類元素であるツリウムを添加した光ファイバを利得媒質とし、これに波長 1. 0 6 μ m の励起光と信号光とを合波して入射し、波長 1 4 7 0 n m 付近の信号光を増幅するものである。更に、このツリウム添加光ファイバ増幅器と E D F A とを併用して一方向の信号伝送において、1 4 6 4 n m ~ 1 4 7 8 n m、1 5 3 5 n m ~ 1 5 5 8 n m、及び 1 5 7 4 n m ~ 1 5 9 9 n m の 3 つの波長帯域を用いた大容量伝送も実現されている（J.Kani et al., "Trinal-wavelength-band WDM transmission over dispersion-shifted fiber." Electronics Letters, Vol.35, No.4, pp.321-322, 1999.）。

【 0 0 0 6 】

上記の技術を用いて双方向の信号伝送を行うためには 2 本の光ファイバを用いて各々の光ファイバにおいて、上述した 2 つ又は 3 つの波長帯域を用いることになる。このような技術によって、波長帯域 1 0 0 n m 以上を用いた大容量の通信システムが可能となっている。更に、ツリウム添加光ファイバ増幅器の励起方法を変更することによって、光ファイバがより低損失となる 1 4 8 0 n m から 1 5 1 0 n m の波長帯域を増幅可能とする技術が案出されている（T. kasamatsu, et al., "1.50- μ m-band gain-shifted thulium-doped fibre amplifier with 1.05- and 1.56- μ m dual-wavelength pumping", Optics Lettes, Vol 24, No.23, pp.1684-1686, 1999.）。かかる技術によって、伝送距離が延長される等高性能な広帯域伝送システムの構築が期待できる。

【 0 0 0 7 】

【発明が解決しようとする課題】

ところで、100nm以上の波長帯域（以下、この信号伝送のために用いられる波長帯域を伝送波長帯域という）を用いた波長多重伝送（以下、WDM伝送という）では、光ファイバ中のラマン散乱が問題となる。ラマン散乱は、ある波長の光が光ファイバ中の光学フォノンによって異なる波長の光として散乱される現象である。このラマン散乱によって、短波長の光は長波長の光へそのエネルギーの一部を与える。短波長の光から長波長の光へのエネルギー遷移量は、相手光の強度に比例するため、長波長の光の強度が高いほど短波長の光はより多くのエネルギーを長波長の光へ与える。また、シリカ系の光ファイバの場合、波長1.5 μ m付近においては約100nm離れた波長へ最も強くエネルギー遷移が生じることが知られている。

【0008】

近年のWDM伝送のように、100nm以上の伝送波長帯域を用いるWDM伝送においては、ラマン散乱によって伝送波長帯域内の短波長側の光は伝送波長帯域の長波長側の光にエネルギーを奪われるため過剰な減衰を受け、伝送波長帯域の長波長側の光は増幅される。以下、この現象をバンド間ラマン散乱という。バンド間ラマン散乱が強く引き起こされると、伝送波長帯域の短波長側の光の強度が受信端又は中継器の入力において著しく低下するため、受信端における符号誤りの増加や中継器の出力における信号対雑音比の劣化等の問題が生ずる。

【0009】

このような、光ファイバ内での過剰な損失による強度低下に対しては、分布ラマン増幅を適用して損失を補償することが有効であることが知られている。分布ラマン増幅は、ラマン散乱効果を利用して一方向に伝播する光を増幅するものである。具体的には光ファイバの入力端から光を入力するとともに、光ファイバの出力端から増幅する光の波長よりおよそ100nm短い波長の励起光を入力して、励起光と増幅する光とを互いに逆方向に伝播させることにより光ファイバの入力端から入力した光の増幅を行うものである。前述したWDM伝送の場合、伝送波長帯域の短波長側の波長域からおよそ100nm短い波長の光を発する励起光源を光ファイバの出力端に配置すれば、伝送波長帯域の短波長域の光が受けた損

失を補償することができ、ファイバの出力端での光強度の低下を防ぐことができる。

【0010】

しかしながら、バンド間ラマン散乱による短波長光の減衰に伴う劣化は、分布ラマン増幅だけでは十分に補うことができない。前述したように、ラマン散乱は相手光の強度に比例するため、伝送波長域の短波長側の光の減衰は長波長側の光の強度が高い光ファイバの入力端で強く起こる。一方、分布ラマン増幅は、励起光の強度が十分に高い光ファイバの出力端付近で強く起こる。ここで、光ファイバの入力端から入力された伝送波長帯域の短波長側の光は、バンド間ラマン散乱に起因する光ファイバの入射端付近での減衰及び光ファイバ内を伝播する際に生ずる損失による減衰により既に大きな減衰を受けているため、光ファイバの出力端における光強度が極めて低いものとなる。前述したように、分布ラマン増幅は、光ファイバの出力端付近で強く起こるが、光強度が極めて低い光を分布ラマン増幅で増幅すると、増幅過程で発生する雑音光によって信号対雑音比が大きく劣化し、この結果が伝送特性の劣化が生じる。このように、従来は信号対雑音比の劣化による伝送品質の低下が生ずるという問題があった。

【0011】

更に、バンド間ラマン散乱によって伝送波長帯域内の長波長側の光は増幅されるが、この増幅は短波長側の光の強度が高い光ファイバの入力端付近で生じる。この結果、光ファイバ内における伝送波長帯域内の長波長側の光の平均強度がファイバ全体に亘って高くなる。長波長側の光の光強度が増加すると、光ファイバ中の非線形光学効果（例えば、自己位相変調等の3次の非線形成分に起因する非線形光学効果）も増大するため、伝送後の波形の歪みが増加するという問題もあった。

【0012】

本発明は上記事情に鑑みてなされたものであり、雑音や非線形の影響を低減し、広い波長帯域に亘って長距離伝送を可能とする波長多重光通信システム並びに当該波長多重光通信システムで用いられる波長多重光送受信装置及び波長多重光中継器を提供することを目的とする。

【 0 0 1 3 】

【課題を解決するための手段】

上記課題を解決するために、本発明の第1の観点による波長多重光通信システムは、光伝送路中を第1の波長多重光と第2の波長多重光とを互いに逆向きに伝送させて双方向に多重通信を行う波長多重光通信システムであって、前記第1の波長多重光の波長帯域は、前記第2の波長多重光の波長帯域よりも短波長側の波長帯域に設定され、前記第1の波長多重光の波長帯域よりも短波長の励起光を、前記第2の波長多重光と同じ向きに伝播させることを特徴としている。

また、本発明の第2の観点による波長多重光通信システムは、第1の観点による波長多重光通信システムにおいて、前記励起光の波長と前記第1の波長多重光の波長帯域との間隔は、前記光伝送路のラマン散乱特性に応じて設定されることを特徴としている。

また、本発明の第3の観点による波長多重光通信システムは、第1の観点又は第2の観点による波長多重光通信システムにおいて、前記第1の波長多重光及び前記第2の波長多重光を含む波長帯域は100nm以上であることを特徴としている。

また、本発明の第4の観点による波長多重光通信システムは、第1の観点から第3の観点の何れかの観点による波長多重光通信システムにおいて、前記光伝送路の一端に設けられ、前記第1の波長多重光を前記光伝送路の一端から送信するとともに、前記光伝送路を介して伝送されてくる前記第2の波長多重光を受信する第1の波長多重光送受信装置と、前記光伝送路の他端に設けられ、前記第2の波長多重光及び前記励起光を前記光伝送路の他端からそれぞれ送信及び入力するとともに、前記光伝送路を介して伝送されてくる前記第1の波長多重光を受信する第2の波長多重光送受信装置とを具備することを特徴としている。

また、本発明の第5の観点による波長多重光通信システムは、第4の観点による波長多重光通信システムにおいて、前記第1の波長多重光及び前記第2の波長多重光をそれぞれ増幅するとともに、前記励起光とほぼ同一波長の励起光を前記光伝送路を伝播する前記励起光と同一方向に前記光伝送路へ出力する波長多重光中継器を前記光伝送路中に設けたことを特徴としている。

また、本発明の第 6 の観点による波長多重光通信システムは、第 4 の観点又は第 5 の観点による波長多重光通信システムにおいて、前記光伝送路が、第 1 の光伝送路及び第 2 の光伝送路からなり、前記第 1 の波長多重光送受信装置が、前記第 1 の波長多重光を前記第 1 の光伝送路の一端から送信するとともに、前記第 1 の光伝送路を介して伝送されてくる前記第 2 の波長多重光を受信し、且つ前記第 2 の波長多重光及び前記励起光を前記第 2 の光伝送路の一端からそれぞれ送信及び入力するとともに、前記第 2 の光伝送路を介して伝送されてくる前記第 1 の波長多重光を受信し、前記第 2 の波長多重光送受信装置が、前記第 2 の波長多重光及び前記励起光を前記第 1 の光伝送路の他端からそれぞれ送信及び入力するとともに、前記第 1 の光伝送路を介して伝送されてくる前記第 1 の波長多重光を受信し、且つ前記第 1 の波長多重光を前記第 2 の光伝送路の他端から送信するとともに、前記第 2 の光伝送路を介して伝送されてくる前記第 2 の波長多重光を受信することを特徴としている。

また、本発明の第 7 の観点による波長多重光通信システムは、第 1 の観点から第 3 の観点の何れかの観点による波長多重光通信システムにおいて、前記第 1 の波長多重光の波長帯域と前記第 2 の波長多重光の波長帯域との間に波長帯域が設定された第 3 の波長多重光を、前記第 2 の波長多重光と同じ向きに伝送させることを特徴としている。

また、本発明の第 8 の観点による波長多重光通信システムは、第 7 の観点による波長多重光通信システムにおいて、前記第 3 の波長多重光の波長帯域の短波長側に、前記励起光の波長と前記第 1 の波長多重光の波長帯域との間隔と同程度の間隔をもって設定された励起光を前記第 2 の波長多重光と同じ向きに伝播させることを特徴としている。

また、本発明の第 9 の観点による波長多重光通信システムは、第 4 の観点又は第 5 の観点による波長多重光通信システムにおいて、前記第 2 の波長多重光送受信装置は、更に前記第 1 の波長多重光の波長帯域と前記第 2 の波長多重光の波長帯域との間に波長帯域が設定された第 3 の波長多重光を前記光伝送路の他端から送信し、前記第 1 の波長多重光送受信装置は、更に前記光伝送路を介して伝送されてくる前記第 3 の波長多重光を受信することを特徴としている。

また、本発明の第 1 0 の観点による波長多重光通信システムは、第 1 の観点から第 6 の観点の何れかの観点による波長多重光通信システムにおいて、前記第 1 の波長多重光は、波長 1 5 8 0 n m から 1 6 2 0 n m の波長帯域に含まれ、前記第 2 の波長多重光は、波長 1 4 8 0 n m から 1 5 2 0 n m の波長帯域に含まれることを特徴としている。

また、本発明の第 1 1 の観点による波長多重光通信システムは、第 7 の観点から第 9 の観点の何れかの観点による波長多重光通信システムにおいて、前記第 3 の波長多重光は、波長 1 5 3 0 n m から 1 5 6 0 n m の波長帯域に含まれることを特徴としている。

本発明の波長多重光送受信装置は、光伝送路を介して伝送されてくる第 1 の波長多重光を受信し、且つ前記第 1 の波長多重光の波長帯域よりも長波長側に波長帯域が設定された第 2 の波長多重光を前記光伝送路に送信するとともに前記第 1 の波長多重光の波長帯域よりも短波長の励起光を前記光伝送路に入力することを特徴としている。

また、本発明の波長多重光送受信装置は、前記励起光の波長と前記第 1 の波長多重光の波長帯域との間隔が、前記光伝送路のラマン散乱特性に応じて設定されることを特徴としている。

更に、本発明の波長多重光送受信装置は、前記第 1 の波長多重光及び前記第 2 の波長多重光を含む波長帯域は 1 0 0 n m 以上であることを特徴としている。

本発明の波長多重光中継器は、伝送路中を互いに逆向きに伝送する第 1 の波長多重光及び当該第 1 の波長多重光の波長帯域よりも長波長側に波長帯域が設定された第 2 の波長多重光をそれぞれ増幅するとともに、前記第 1 の波長多重光の波長帯域よりも短波長の励起光を前記第 2 の波長多重光の出力方向と同一方向に出力することを特徴としている。

また、本発明の波長多重光送受信装置は、前記励起光の波長と前記第 1 の波長多重光の波長帯域との間隔が、前記光伝送路のラマン散乱特性に応じて設定されることを特徴としている。

更に、本発明の波長多重光送受信装置は、前記第 1 の波長多重光及び前記第 2 の波長多重光を含む波長帯域は 1 0 0 n m 以上であることを特徴としている。

【 0 0 1 4 】

次に、以上の構成を有する本発明の波長多重光送受信装置、波長多重光中継器、及び波長多重光通信システムの原理について説明する。図 1 は、本発明において光伝送路 1 に対する波長多重光の伝送方向及び励起光の伝播方向を示す図である。図 1 において、1 は光伝送路としての光ファイバであり、長さが 8 0 k m であるとする。第 1 の波長多重光としての第 1 の光 L 1 は光ファイバ 1 の一端 1 a から光ファイバ 1 内に入力して他端 1 b から出力され、第 2 の波長多重光としての第 2 の光 L 2 及び励起光 E L は光ファイバ 1 の他端 1 b から光ファイバ 1 内に入力して光ファイバ 1 の一端 1 a から出力される場合を考える。ここで、図 2 は、第 1 の光 L 1、第 2 の光 L 2、及び励起光の波長を示す図である。いま、光ファイバ 1 がシリカ系の材料で構成されており、第 1 の光 L 1 の波長は第 2 の光 L 2 によるバンド間ラマン散乱の影響を最も受けやすくなるよう第 2 の光 L 2 の波長より 1 0 0 n m 短い値に設定され、更に励起光 E L の波長は、第 1 の光 L 1 の波長より 1 0 0 n m 短い値に設定されているとする。尚、励起光の波長と第 1 の波長多重光の波長帯域との間隔は、光ファイバ 1 のラマン散乱特性に応じて設定される。

光ファイバ 1 内を第 1 の光 L 1 及び第 2 の光 L 2 が伝播すると、第 1 の光 L 1 及び第 2 の光 L 2 は、バンド間ラマン散乱、分布ラマン増幅、及び光ファイバ 1 の減衰を受ける。図 3 は、光ファイバ 1 内を伝播する第 1 の光 L 1 及び第 2 の光 L 2 の光強度の変化を示す図である。尚、図 3 に示したグラフの縦軸は、光ファイバ 1 の一端 1 a における第 1 の光 L 1 の光強度を「1」とし、更に光ファイバ 1 の他端 1 b における第 2 の光 L 2 の光強度を「1」としたときの相対的な光強度である。図 3 において、符号 i_1 を付した曲線が光ファイバ 1 内における第 1 の光 L 1 の光強度の変化を示し、符号 i_2 を付した曲線が光ファイバ 1 内における第 2 の光 L 2 の光強度の変化を示している。尚、図 3 中破線で示した直線 D L 1、D L 2 は、第 1 の光 L 1 及び第 2 の光 L 2 が、バンド間ラマン散乱及び分布ラマン増幅の影響を受けずに光ファイバ 1 の減衰のみを受けたときの光強度変化をそれぞれ示している。

図 3 に示したように、第 2 の光 L 2 の光強度 i_2 は、光ファイバ 1 の一端 1 a

付近において、バンド間ラマン散乱による増幅を受ける。これは、増幅を励起する第1の光L1の強度が光ファイバ1の一端1a付近で大きいためである。第1の光L1と第2の光L2とを互いに逆方向に伝播させているため、第2の光L2はその光強度が十分小さくなったところ（光ファイバ1の一端1a付近）で増幅されるため、第2の光L2が増幅されたとしても光ファイバ1内の平均光強度はほとんど増加しない。このため、バンド間ラマン増幅に伴う非線形効果の増大は極めて小さい。

一方、第1の光L1の光強度 i_1 は、バンド間ラマン散乱によって、第2の光L2の強度が高い光ファイバ1の他端1b付近において大きな損失を受ける。しかしながら、この損失が発生する光ファイバ1の他端1bでは、同時に励起光ELによる分布ラマン増幅も受けるため、バンド間ラマン散乱による損失が補償され、光ファイバ1内での光強度が低下しないまま光ファイバ1の他端1bに到達する。この結果、分布ラマン増幅時に発生する雑音に対して信号パワーを高く保てるため、信号対雑音比の劣化の影響が小さくなる。

以上、本発明の原理について説明したが、次に本発明と従来技術とを比較する。図1に示した通り、本発明は、1本の光ファイバ1の中を第1の光L1と第2の光L2とを互いに逆方向に伝播させることにより双方向の通信を行うものであるが、従来は、図4に示したように、第1の光L1及び第2の光L2を同一方向に伝播させ、これらの伝播方向と反対方向に励起光ELを伝播させている。図4は、従来技術において光伝送路1に対する波長多重光の伝送方向及び励起光の伝播方向を示す図である。尚、図4に示した第1の光L1、第2の光L2、及び励起光EL各々の波長は図1に示した第1の光L1、第2の光L2、及び励起光EL各々の波長と同一であるとする。図4に示した従来例では、1本の光ファイバ1を用いて第1の光L1及び第2の光L2を同一方向に伝播させているが、図示せぬもう1本の光ファイバを用いて双方向の通信を行う。

図5は、従来技術において光ファイバ1内を伝播する第1の光L1及び第2の光L2の光強度の変化を示す図である。図5において、符号 i_{11} を付した曲線が光ファイバ1内における第1の光L1の光強度の変化を示し、符号 i_{12} を付した曲線が光ファイバ1内における第2の光L2の光強度の変化を示している。

尚、符号DL3は第1の光L1及び第2の光L2が、バンド間ラマン散乱及び分布ラマン増幅の影響を受けずに光ファイバ1の減衰をのみを受けたときの光強度変化を示している。図5と図3とを比較すると、図5に示した従来技術では第2の光L2の光強度 i_{12} は光ファイバ1全体に亘って高くなっており、第1の光L1の光ファイバ1の他端1b付近における最小の光強度はより低くなっている。この結果、図5に示した従来技術では、第1の光L1に対して分布ラマン増幅の雑音の影響が強く、また第2の光L2に対して非線形効果の影響を強く受ける。以上の比較から明らかなように、本発明を適用することによって、光ファイバ内での非線形光学効果やラマン増幅雑音による劣化を抑えることが可能となる。

以上説明した本発明は、波長多重された光の双方向伝送技術と分布ラマン増幅技術とを組み合わせることによりなされた発明である。光の双方向伝送に関しては、光ファイバを空間的に有効利用するための技術として古くから示されており、特に周波数が異なる波長を2つの伝送方向に割り当てる類の発明は、例えば特願平10-278314号公報に開示された技術のように種々案出されている。本発明は、かかる技術と分布ラマン増幅とを単に組み合わせるだけでなく、有効に適応することで、伝送における問題点の解決を図っている。バンド間ラマン散乱による短波長光の出力端における減衰量は、同一方向伝送と双方向伝送で同じとなる。このため、光減衰に伴う伝送信号品質の劣化は2つの伝送方式で変わらない。これに対し分布ラマン増幅を適応した場合に、双方向伝送ではファイバ内での光レベルの低下が防げ、信号対雑音比の劣化が防げることになる。このように、双方向伝送技術の適用だけでは、前述の問題は解決できない。

また、複数波長帯を用いた双方向伝送によって非線形効果が低減できることは、次の文献で示されている。J.Kani et al., "Bi-directional transmission to suppress inter-wavelength-band nonlinear interactions in ultra-wide band WDM transmission systems." Third Optoelectronics and Communication Conference Technical Digest, 16A1-5, pp.412- 413, 1998.

この文献では、分散シフト光ファイバ上を1533~1545nmのWDM信号と1580~1595nmのWDM信号を伝送させる場合に、2つのWDM信号を双方向に伝送させることによって、光ファイバ中の非線形効果である非縮退

四光波混合が抑えられることが示されている。この文献の効果は、伝送路が分散シフトファイバであることから主に非縮退四光波混合によるものであるが、現在WDM伝送に広く用いられるのは局所的な分散がゼロとならない分散マネジメント伝送路であり、非縮退四光波混合は十分に抑えられる。従って、分布ラマン増幅が用いられなければラマン散乱による劣化を防ぐことが難しいことが考えられ、このことからこの公知技術と本発明とは異なるものであるといえる。

【0015】

【発明の実施の形態】

以下、図面を参照して本発明の実施形態による波長多重光送受信装置、波長多重光中継器、及び波長多重光通信システムについて詳細に説明する。

〔第1実施形態〕

図6は、本発明の第1実施形態による波長多重光送受信装置及び波長多重光通信システムの構成を示す図である。図6に示した本発明の第1実施形態による波長多重光通信システムは、光伝送路としての光ファイバOF1の一端に波長多重光送受信装置10を接続するとともに光ファイバOF1の他端に本発明の第1実施形態による波長多重光送受信装置20を接続して構成される。波長多重光送受信装置10は、WDM光送信器群11、AWG（Arrayed Waveguide Grating：アレー導波路型回折格子）波長多重器12、波長帯合分波光カプラ13、AWG光分波器14、及びWDM光受信器群15を備える。

【0016】

WDM光送信器群11は、10Gb/sの送信速度を有する16台の波長多重光送信器（以下、WDM光送信器という）を備える。各波長多重光送信器から出力される光信号の波長は、1487.8nm（201.5THz）から1499.0nm（200.0THz）の間で100GHz間隔の異なる波長となるように設定される。AWG波長多重器12は、WDM光送信器群11が備える16台の波長多重光送信器から出力される光信号を多重して第1の波長多重光を出力する。AWG波長多重器12の出力端は波長帯合分波光カプラ13のポート13aに接続されている。波長帯合分波光カプラ13は、ポート13aから入力される1485nmから1505nmの光をポート13bから選択的に出力し、ポート

13bから入力される1585nmから1605nmの光をポート13cから選択的に出力する。

【0017】

よって、波長帯合分波光カプラ13はポート13aから入力される第1の波長多重光をポート13bから出力し、また、波長帯合分波光カプラ13は、ポート13bから入力した後述する第2の波長多重光をポート13cから選択的に出力する。ポート13cには、AWG光分波器14の入力端が接続されており、ポート13cから出力される第2の波長多重光を波長毎に分離して出力する。AWG光分波器14の出力端には16台のWDM光受信器を備えるWDM光受信器群15が接続され、AWG光分波器14の出力端から出力される各々の波長毎の光信号を受信する。

【0018】

光ファイバOF1は、シリカ系の材料で構成される光ファイバである。光ファイバOF1の他端に接続された波長多重光送受信装置20は、WDM光送信器群21、AWG波長多重器22、波長帯合分波光カプラ23、半導体レーザ24、合波器25、AWG光分波器26、及びWDM光受信器群27を備える。WDM光送信器群21は、10Gb/sの送信速度を有する16台の波長多重光送信器を備える。各波長多重光送信器から出力される光信号の波長は、1586.2nm(189.0THz)から1598.9nm(187.5THz)の間で100GHz間隔の異なる波長となるように設定される。AWG波長多重器22は、WDM光送信器群21が備える16台の波長多重光送信器から出力される光信号を多重して第2の波長多重光を出力する。このように、第2の波長多重光の波長帯域は、第1の波長多重光の波長帯域よりも長波長側に設定される。

【0019】

AWG波長多重器22の出力端は波長帯合分波光カプラ23のポート23aに接続されている。波長帯合分波光カプラ23は、ポート23aから入力される1485nmから1505nmの光をポート23bから選択的に出力し、第2のポート23bから入力される1585nmから1605nmの光をポート23cから選択的に出力する。よって、波長帯合分波光カプラ23はポート23aから入

力される第1の波長多重光をポート23bから出力する。また、波長帯合分波光カプラ23は、ポート23bから入力した第1の波長多重光をポート23cから選択的に出力する。

【0020】

半導体レーザ24は、波長1400nm付近のレーザ光を励起光として出力する高出力ファブリペロー型の半導体レーザである。尚、第1の波長多重光、第2の波長多重光、及び半導体レーザ14から出力される励起光の光強度比は、例えば1:1:2に設定される。また、半導体レーザ14から出力される励起光の波長幅は数nm～十数nm程度とある程度広い方が好ましいが、波長幅が狭くても（例えば、数十から数百pm程度）非線形光学効果やラマン増幅雑音による第1の波長多重光及び第2の波長多重光の劣化を抑えることは可能である。

【0021】

波長帯合分波光カプラ23のポート23bには合波器25が接続されている。合波器25は、ポート23bから出力される第2の波長多重光と半導体レーザ24から出力される励起光とを合波して出力する。合波器25の出力端は光ファイバOF1の他端に接続され、合波した第2の波長多重光と励起光とを光ファイバOF1の他端から入力する。更に、波長帯合分波光カプラ23のポート23cにはAWG光分波器26の入力端が接続されており、ポート23cから出力される第1の波長多重光を波長毎に分離して出力する。AWG光分波器26の出力端には16台のWDM光受信器を備えるWDM光受信器群27が接続され、AWG光分波器26の出力端から出力される各々の波長毎の光信号を受信する。

【0022】

次に、上記構成の本発明の第1実施形態による波長多重光送受信装置及び波長多重光通信システムの動作について説明する。1487.8nm(201.5THz)から1499.0nm(200.0THz)の間で100GHz間隔の異なる波長に設定された光信号がWDM光送信器群11から出力されると、AWG波長多重器12において波長多重され、第1の波長多重光として出力される。この第1の波長多重光は、波長帯合分波光カプラ13のポート13aから入力してポート13bから出力し、光ファイバOF1を介して伝送される。

【 0 0 2 3 】

第 1 の波長多重信号が光ファイバ OF 1 中を伝送されると、光ファイバ OF 1 の減衰を受けるとともに、バンド間ラマン散乱によりエネルギーの一部を第 2 の波長多重光に与えるため光強度が低下する。しかしながら、光ファイバ OF 1 の他端 e 2 の付近では、励起光の光強度が高いため、分布ラマン増幅によって第 1 の波長多重光が増幅される。よって、第 1 の波長信号光の光強度が極端に低下することはなく光ファイバ OF 1 の他端 e 2 まで伝送される。

【 0 0 2 4 】

波長多重光送受信装置 2 0 に第 1 の波長多重光が入力すると、合波器 2 5 並びに波長帯合分波光カプラ 2 3 のポート 2 3 b 及びポート 2 3 c を介して AWG 光分波器 2 6 に入力する。AWG 光分波器 2 6 に入力した第 1 の波長多重光は、第 1 の波長多重光を波長毎に分離して出力し、AWG 光分波器 2 6 から出力された各波長毎の光信号は WDM 光受信器群 2 7 によって受信される。以上の動作によって波長多重光送受信装置 1 0 から波長多重光送受信装置 2 0 へ第 1 の波長多重信号が送信される。

【 0 0 2 5 】

また、1 5 8 6 . 2 n m (1 8 9 . 0 T H z) から 1 5 9 8 . 9 n m (1 8 7 . 5 T H z) の間で 1 0 0 G H z 間隔の異なる波長に設定された光信号が WDM 光送信器群 2 1 から出力されると AWG 波長多重器 2 2 において波長多重され、第 2 の波長多重光として出力される。この第 2 の波長多重光は、波長帯合分波光カプラ 1 3 のポート 1 3 a から入力してポート 1 3 b から出力し、合波器 2 5 によって励起光と合波された後、光ファイバ OF 1 へ送出される。

【 0 0 2 6 】

前述したように、第 1 の波長多重光は、その光強度が小さくなる光ファイバ OF 1 の他端 e 2 付近で分布ラマン増幅により増幅されるため、光ファイバ OF 1 の他端 e 2 の付近におけるバンド間ラマン増幅の影響は少ない。バンド間ラマン増幅の影響が大となるのは第 1 の波長多重光の光強度が高い光ファイバ OF 1 の一端 e 1 付近であるので、かかる部位で第 2 の波長多重光が増幅されたとしても光ファイバ OF 1 内の平均光強度はほとんど増加せず、その結果バンド間ラマン

増幅に伴う非線形効果の増大は極めて小さい。

【 0 0 2 7 】

波長多重光送受信装置 1 0 に第 2 の波長多重光が入力すると、波長帯合分波光カプラ 1 3 のポート 1 3 b 及びポート 1 3 c を介して AWG 光分波器 1 4 に入力する。AWG 光分波器 1 4 に入力した第 2 の波長多重光は、第 2 の波長多重光を波長毎に分離して出力し、AWG 光分波器 1 4 から出力された各波長毎の光信号は WDM 光受信器群 1 5 によって受信される。以上の動作によって波長多重光送受信装置 2 0 から波長多重光送受信装置 1 0 へ第 2 の波長多重信号が送信される。

【 0 0 2 8 】

〔第 2 実施形態〕

図 7 は、本発明の第 2 実施形態による波長多重光通信システムの構成及び本発明の第 1 実施形態による波長多重光中継器の構成を示す図である。図 7 に示した本発明の第 2 実施形態による波長多重光通信システムが図 6 に示した本発明の第 1 実施形態による波長多重光通信システムと異なる点は光伝送路としての光ファイバ中に本発明の第 1 実施形態による波長多重光中継器 3 0 を設けた点である。

【 0 0 2 9 】

波長多重光中継器 3 0 は、光ファイバ OF 1 中を伝送される第 1 の波長多重光及び第 2 の波長多重光を増幅して長距離伝送を可能にするために設けられる。本実施形態においては、1 本の光ファイバ OF 1 中を第 1 の波長多重光及び第 2 の波長多重光を互いに逆方向に伝送することにより双方向の通信を実現しているため、波長帯域が相違し且つ伝送方向が反対の第 1 の波長多重光及び第 2 の波長多重光をとともに増幅する必要があり、更に励起光を考慮しなければならない。図 7 に示した波長多重光中継器 3 0 は、合波器 3 1、半導体レーザ 3 2、波長帯合分波光カプラ 3 3、ツリウム添加光ファイバ増幅器 3 4、エルビウム添加光ファイバ増幅器 3 5、及び波長帯合分波光カプラ 3 6 を備える。

【 0 0 3 0 】

合波器 3 1 は増幅後の第 2 の波長多重光と半導体レーザ 3 2 から出力される励起光とを合波するためのものである。半導体レーザ 3 2 は、前述した半導体レー

ザ 2 4 と同様に波長 1 4 0 0 n m 付近のレーザ光を励起光として出力する高出力ファブリペロー型の半導体レーザである。波長帯合分波光カプラ 3 3 は、合波器 3 1 を介した第 1 の波長多重光をツリウム添加光ファイバ増幅器 3 4 へ導くとともに、エルビウム添加光ファイバ増幅器 3 5 から出力された第 2 の波長多重光を合波 3 1 へ出力する。ツリウム添加光ファイバ増幅器 3 4 は 1 4 5 0 n m から 1 5 3 0 n m までの波長帯域の光を増幅する。

【 0 0 3 1 】

よって、第 1 の波長多重光がツリウム添加光ファイバ増幅器 3 4 によって増幅される。エルビウム添加光ファイバ増幅器 3 5 は、1. 5 5 μ m 帯及び 1. 5 8 μ m 帯の光を増幅する。よって、第 2 の波長多重光がエルビウム添加光ファイバ増幅器 3 5 によって増幅される。波長帯合分波光カプラ 3 6 は、光ファイバ OF 1 を伝送してきた第 2 の波長多重光をエルビウム添加光ファイバ増幅器 3 5 へ導くとともに、ツリウム添加光ファイバ増幅器 3 4 から出力された第 1 の波長多重光を光ファイバ OF 1 へ出力する。

【 0 0 3 2 】

上記構成における波長多重光中継器 3 0 は、波長多重光送受信装置 1 0 から光ファイバ OF 1 を介して波長多重光送受信装置 2 0 へ伝送される第 1 の波長多重光をツリウム添加光ファイバ増幅器 3 4 で増幅するとともに、波長多重光送受信装置 2 0 から光ファイバ OF 1 を介して波長多重光送受信装置 1 0 へ伝送される第 2 の波長多重光をエルビウム添加光ファイバ増幅器 3 5 で増幅する。更に、波長多重光中継器 3 0 は、波長多重光送受信装置 2 0 が備える半導体レーザ 2 4 から出力される励起光とほぼ同一波長の励起光を出力する半導体レーザ 3 2 からの励起光を増幅された第 2 の波長多重光と合波して出力する。よって、第 1 の波長多重光及び第 2 の波長多重光が増幅されるとともに、光ファイバ OF 1 による励起光の減衰分が補われるので、バンド間ラマン増幅に伴う非線形効果を抑えつつ長距離伝送を行うことができる。

【 0 0 3 3 】

〔第 3 実施形態〕

図 8 は、本発明の第 3 実施形態による波長多重光通信システムの構成及び本発

明の第2実施形態による波長多重光送受信装置の構成を示す図である。図8に示した本発明の第3実施形態による波長多重光通信システムは2本の光ファイバOF11, OF12を用いてチャネル数を増加させている。光ファイバOF11, OF12の一端及び他端には本発明の第2実施形態による波長多重光送受信装置40及び波長多重光送受信装置50がそれぞれ接続されている。

【0034】

本実施形態では、波長多重光送受信装置40から光ファイバOF11を介して第1の波長多重光を波長多重光送受信装置50へ伝送するとともに、波長多重光送受信装置50から光ファイバOF11を介して第2の波長多重光を波長多重光送受信装置40へ伝送する。また、波長多重光送受信装置40から光ファイバOF12を介して第2の波長多重光を波長多重光送受信装置50へ伝送するとともに、波長多重光送受信装置50から光ファイバOF12を介して第1の波長多重光を波長多重光送受信装置40へ伝送する。つまり、光ファイバOF11と光ファイバOF12とでは、第1の波長多重光の伝送方向が逆であり、第2の波長多重光についても伝送方向が逆である。

【0035】

波長多重光送受信装置40は、WDM光送信器群41a、AWG波長多重器42a、波長帯合分波光カプラ43a、AWG光分波器44a、及びWDM光受信器群45aを備える。これらは、図6に示したWDM光送信器群11、AWG波長多重器12、波長帯合分波光カプラ13、AWG光分波器14、及びWDM光受信器群15とそれぞれ同様のものであり、第1の波長多重光を光ファイバOF11に送信するとともに、光ファイバOF11を介して伝送されてくる第2の波長多重信号を受信するための構成である。

【0036】

また、波長多重光送受信装置40は、WDM光送信器群41b、AWG波長多重器42b、波長帯合分波光カプラ43b、半導体レーザ44b、及びWDM光受信器群45bを備える。これらは、図6に示したWDM光送信器群21、AWG波長多重器22、波長帯合分波光カプラ23、AWG光分波器26、及びWDM光受信器群27とそれぞれ同様のものであり、第2の波長多重光を光ファイバ

OF 12に送信するとともに、光ファイバOF 12を介して伝送されてくる第1の波長多重信号を受信するための構成である。更に、合波器46及び半導体レーザ47は、図6に示した合波器25及び半導体レーザ24と同様のものであり、1400nm付近の励起光を第2の波長多重光と合波して光ファイバOF 12へ出力するためのものである。

【0037】

波長多重光送受信装置50は、WDM光送信器群51a、AWG波長多重器52a、波長帯合分波光カプラ53a、AWG光分波器54a、及びWDM光受信器群55aを備える。これらは、図6に示したWDM光送信器群21、AWG波長多重器22、波長帯合分波光カプラ23、AWG光分波器26、及びWDM光受信器群27とそれぞれ同様のものであり、第2の波長多重光を光ファイバOF 11に送信するとともに、光ファイバOF 11を介して伝送されてくる第1の波長多重信号を受信するための構成である。

【0038】

更に、合波器56及び半導体レーザ57は、図6に示した合波器25及び半導体レーザ24と同様のものであり、1400nm付近の励起光を第2の波長多重光と合波して光ファイバOF 11へ出力するためのものである。また、波長多重光送受信装置50は、WDM光送信器群51b、AWG波長多重器52b、波長帯合分波光カプラ53b、半導体レーザ54b、及びWDM光受信器群55bを備える。これらは、図6に示したWDM光送信器群11、AWG波長多重器12、波長帯合分波光カプラ13、AWG光分波器14、及びWDM光受信器群15とそれぞれ同様のものであり、第1の波長多重光を光ファイバOF 12に送信するとともに、光ファイバOF 12を介して伝送されてくる第2の波長多重信号を受信するための構成である。

【0039】

上述したように、光ファイバOF 11中を伝送する第2の波長多重光の伝送方向と光ファイバOF 12中を伝送する第2の波長多重光の伝送方向とは逆である。よって、光ファイバOF 11中に設けられる波長多重光中継器30a及び光ファイバOF 12中に設けられる波長多重光中継器30bは、伝送する第2の波長

多重光の向きと半導体レーザ 3 2 から出力される励起光の向きとが一致するように設定される。以上の構成により、チャネル数を増加させつつバンド間ラマン増幅に伴う非線形効果を抑えつつ長距離伝送を行うことができる。

【 0 0 4 0 】

〔第 4 実施形態〕

図 9 は、本発明の第 4 実施形態による波長多重光通信システムの構成及び本発明の第 3 実施形態による波長多重光送受信装置の構成を示す図である。上述した第 1 ～ 第 3 実施形態では、波長多重光送受信装置 1 0 と波長多重光送受信装置 2 0 との間又は波長多重光送受信装置 4 0 と波長多重光送受信装置 5 0 との間で、第 1 の波長多重光 (1 4 8 7 . 8 n m (2 0 1 . 5 T H z) から 1 4 9 9 . 0 n m (2 0 0 . 0 T H z) : 1 . 4 9 μ m 帯) と第 2 の光 (1 5 8 6 . 2 n m (1 8 9 . 0 T H z) から 1 5 9 8 . 9 n m (1 8 7 . 5 T H z) : 1 . 5 8 μ m 帯) を用いて多重通信を行っていたが、図 9 に示した本発明の第 4 実施形態による波長多重光通信システムは、上記第 1 の波長多重光及び第 2 の波長多重光に加えて、波長帯域が第 1 の波長多重光の波長帯域と第 2 の光の波長帯域との間に設定された第 3 の光 (1 . 5 5 μ m 帯) を用いて多重通信を行っている。尚、図 9 においては、図 6 に示した本発明の第 1 実施形態による波長多重光通信システムが備える部材と同一部材には同一の符号を付している。

【 0 0 4 1 】

波長多重光送受信装置 6 0 は、分波カプラ 6 1、AWG 光分波器 6 2、及び WDM 光受信器群 6 3 を更に備える。分波カプラ 6 1 は、波長帯合分波光カプラ 1 3 のポート 6 1 に接続され、ポート 6 1 から出力される第 2 の光と第 3 の光とを分離する。分波カプラ 6 1 によって分離された第 2 の光は AWG 光分波器 1 4 へ出力され、第 3 の光は AWG 光分波器 6 2 へ出力される。AWG 光分波器 6 2 の出力端には 1 6 台の WDM 光受信器を備える WDM 光受信器群 6 3 が接続され、WDM 光受信器群 6 3 は AWG 光分波器 6 2 の出力端から出力される各々の波長毎の光信号を受信する。

【 0 0 4 2 】

また、波長多重光送受信装置 7 0 は、WDM 光送信器群 7 1、AWG 波長多重

器 7 2、及び合波カプラ 7 3 を備える。WDM 光送信器群 7 1 は、1 0 G b / s の送信速度を有する 1 6 台の波長多重光送信器を備え、各波長多重光送信器から出力される光信号の波長は、1 5 4 0 . 6 n m (1 9 4 . 6 T H z) から 1 5 5 2 . 5 n m (1 9 3 . 1 T H z) の間で 1 0 0 G H z 間隔の異なる波長となるように設定される。AWG 波長多重器 7 2 は、WDM 光送信器群 7 1 が備える 1 6 台の波長多重光送信器から出力される光信号を多重して第 3 の波長多重光を出力する。AWG 波長多重器 7 2 の出力端は合波カプラ 7 3 に接続されている。合波カプラ 7 3 は、AWG 波長多重器 2 2 から出力される第 2 の波長多重光と AWG 波長多重器 7 2 から出力される第 3 の波長多重光とを合波して波長帯合分波光カプラ 2 3 のポート 2 3 a に出力する。

【 0 0 4 3 】

上記構成において、第 1 の波長多重光は第 1 実施形態と同様に、波長多重光送受信装置 6 0 から光ファイバ OF 1 を介して波長多重光送受信装置 7 0 へ送信される。一方、第 2 の波長多重光及び第 3 の波長多重光は、合波カプラ 7 3 で合波され、更に合波器 2 5 において励起光と合波されて光ファイバ OF 1 へ出力される。光ファイバ OF 1 を伝送してきた第 2 の波長多重光及び第 3 の波長多重光は分波カプラ 6 1 でそれぞれ分離される。第 2 の波長多重光は AWG 光分波器 1 4 で各々の波長毎に分離されて WDM 光受信器群 1 5 の各 WDM 光受信器で受信され、第 3 の波長多重光は AWG 光分波器 6 2 で各々の波長毎に分離されて WDM 光受信器群 6 3 の各 WDM 光受信器で受信される。

【 0 0 4 4 】

以上説明した本発明の第 4 実施形態による波長多重光通信システムは、第 2 の波長多重光及び第 3 の波長多重光の伝播方向と励起光の伝播方向とを同一方向に設定される。第 3 の波長多重光は第 1 の波長多重光と異なり、励起光との波長間隔が光ファイバ OF 1 のラマン散乱特性に応じて最適切に設定されていない。しかしながら、バンド間ラマン増幅は励起光と第 1 の波長多重光との波長間隔が 1 0 0 n m である場合にのみ生ずるものではなくある広がりをもって生ずるものであるため、励起光と第 3 の波長多重光との波長間隔が 1 0 0 n m からずれていたとしても、バンド間ラマン増幅に伴う非線形効果を抑えつつ長距離伝送を行うこ

とができる。また、上記実施形態においては、第1の波長多重光に対して100nmだけ短波長の励起光を用いていたが、この励起光とともに第3の波長多重光に対して100nmだけ短波長の1.45 μ m付近の励起光を用いるようにしてもよい。

【0045】

以上、本発明の第1実施形態から第4実施形態について説明したが、本発明は上記実施形態に制限されることはなく、本発明の範囲内で自由に変更が可能である。例えば、上述した本発明の第4実施形態においては第1の波長多重光～第3の波長多重光を一芯の光ファイバを用いて無中継伝送する場合を例に挙げて説明したが、第1実施形態が第2実施形態に拡張されたのと同様に、波長多重光中継器30を用いて中継伝送することが可能であり、更に第2実施形態が第3実施形態に拡張されたのと同様に、2本の光ファイバOF11、OF12を用いて双方向に第1の波長多重光～第3の波長多重光を用いてチャネル数を増加させつつバンド間ラマン増幅に伴う非線形効果を抑えつつ長距離伝送を行うことができる。

【0046】

また、本発明は、伝送帯域として用いる波長帯は2つの波長帯域に制限されるものではなく、3つ以上の波長帯域を用いても良い。また、第4実施形態では、第3の波長多重光を、第2の波長多重光と合波させて伝播させる場合を例に挙げて説明したが、この組み合わせに限らず、例えば、第3の波長多重光を第1の波長多重光と合波させるようにしてもよい。

【0047】

ところで、上述した第1実施形態から第4実施形態において、波長帯合分波光カプラ13、23、33、36、43a、43b、53a、53bは、光ファイバOF1、OF11、OF12のWDMカプラ又は多層膜フィルタによるWDMカプラの場合を例に挙げて説明したが、波長帯合分波光カプラ13、23、33、36、43a、43b、53a、53bに代えて光サーキュレータを用いても良い。

【0048】

また、光ファイバOF1、OF11、OF12は、単一の光ファイバだけでな

く、複数の異なる分散値を持つ光ファイバの組合わせでもよい。また、第 1 及び第 2 の波長帯多重光を増幅するデバイスは、ツリウム添加光ファイバ増幅器 3 4 やエルビウム添加光ファイバ増幅器 3 5 に限られず、例えばその他の希土類添加光増幅器や集中定数型ラマン増幅器、半導体光増幅器等であってもよい。また、第 1 の波長多重光と第 2 の波長多重光との波長間隔、及び第 1 の波長多重光と第 3 波長多重光との間隔は 1 0 0 n m に限定されるものではなく、それより広くても狭くてもよい。もちろん、波長多重数は各波長帯域で「1 6」に限定されるものではなく、また波長間隔も 1 0 0 G H z に限定されるものではない。

【0 0 4 9】

【発明の効果】

以上、説明したように、本発明によれば、バンド間ラマン散乱を引き起こす長波長側の第 2 の波長多重光を光伝送路の他端から伝送させることにより光伝送路の他端付近においてバンド間ラマン散乱を引き起こさせているため、短波長側に設定された第 1 の波長多重光が分布ラマン増幅時に受ける信号対雑音比が高く保たれ、その結果として伝送後の符号誤り率を低く抑えることができるという効果がある。

また、長波長側の第 2 の波長多重光と短波長側の第 1 の波長多重光とを逆向きに伝送させることにより、光強度が低くなる光伝送路の一端付近でバンド間ラマン散乱により第 2 の波長多重光が増幅されるため、光伝送路内における第 2 の波長多重光の平均強度を低く抑えることができる。これによって、光伝送路内における非線形効果による歪が抑えられ、伝送後の符号誤り率を低く抑えることができるという効果がある。

【図面の簡単な説明】

【図 1】 本発明において光伝送路 1 に対する波長多重光の伝送方向及び励起光の伝播方向を示す図である。

【図 2】 第 1 の光 L 1、第 2 の光 L 2、及び励起光の波長を示す図である。

【図 3】 光ファイバ 1 内を伝播する第 1 の光 L 1 及び第 2 の光 L 2 の光強度の変化を示す図である。

【図 4】 従来技術において光伝送路 1 に対する波長多重光の伝送方向及び励起光の伝播方向を示す図である。

【図 5】 従来技術において光ファイバ 1 内を伝播する第 1 の光 L 1 及び第 2 の光 L 2 の光強度の変化を示す図である。

【図 6】 本発明の第 1 実施形態による波長多重光送受信装置及び波長多重光通信システムの構成を示す図である。

【図 7】 本発明の第 2 実施形態による波長多重光通信システムの構成及び本発明の第 1 実施形態による波長多重光中継器の構成を示す図である。

【図 8】 本発明の第 3 実施形態による波長多重光通信システムの構成及び本発明の第 2 実施形態による波長多重光送受信装置の構成を示す図である。

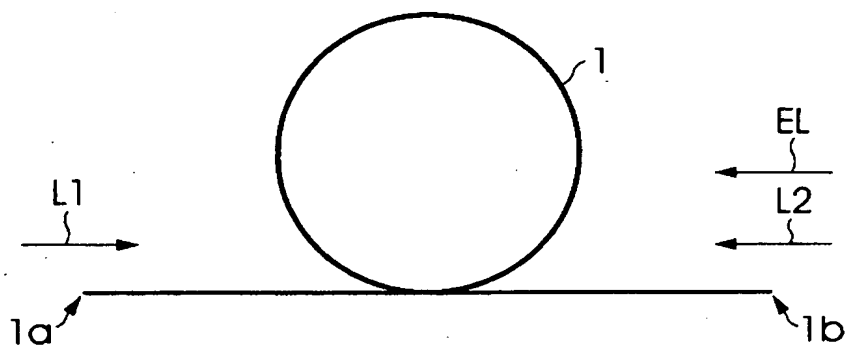
【図 9】 本発明の第 4 実施形態による波長多重光通信システムの構成及び本発明の第 3 実施形態による波長多重光送受信装置の構成を示す図である。

【符号の説明】

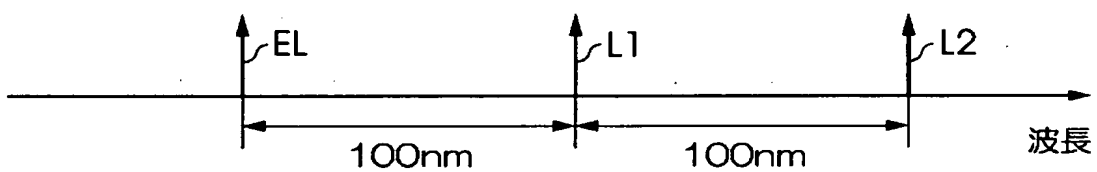
OF 1, OF 1 1, OF 1 2 光ファイバ (光伝送路)
 1 0, 4 0, 6 0 波長多重光送受信装置 (第 1 の波長多重光送受信装置)
 2 0, 5 0, 7 0 波長多重光送受信装置 (第 2 の波長多重光送受信装置)
 3 0, 3 0 a, 3 0 b 波長多重光中継器

【書類名】 図面

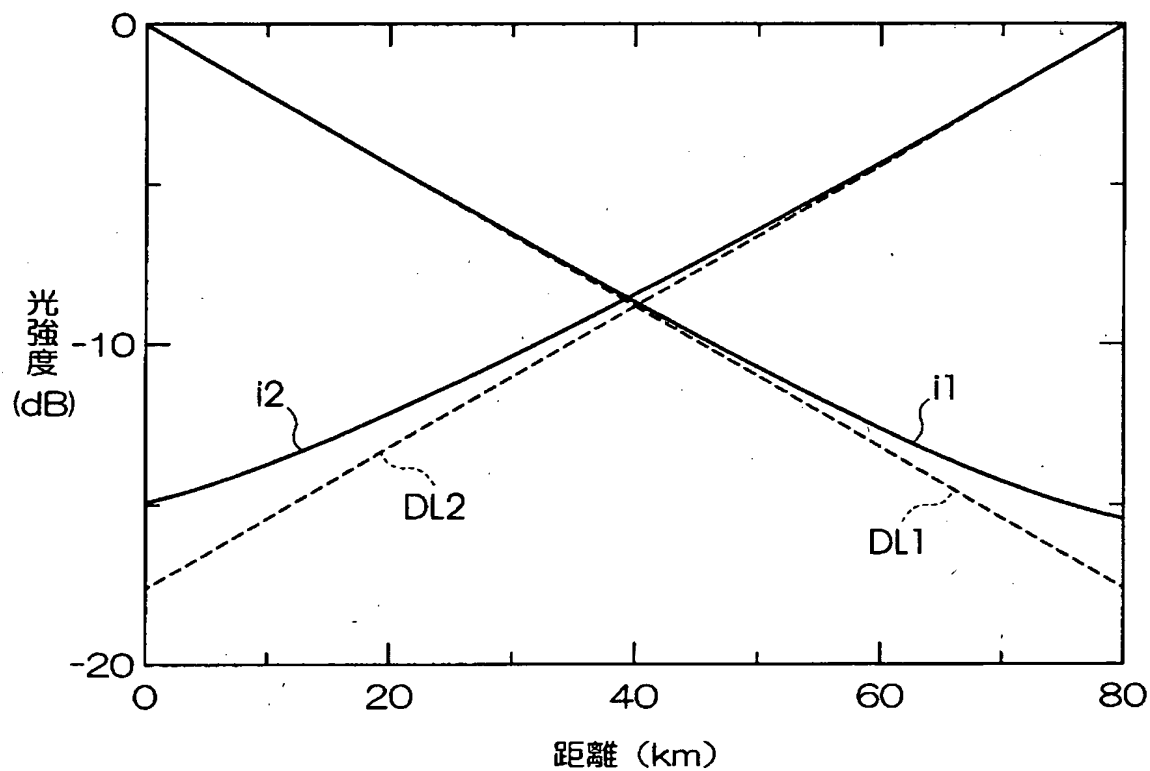
【図 1】



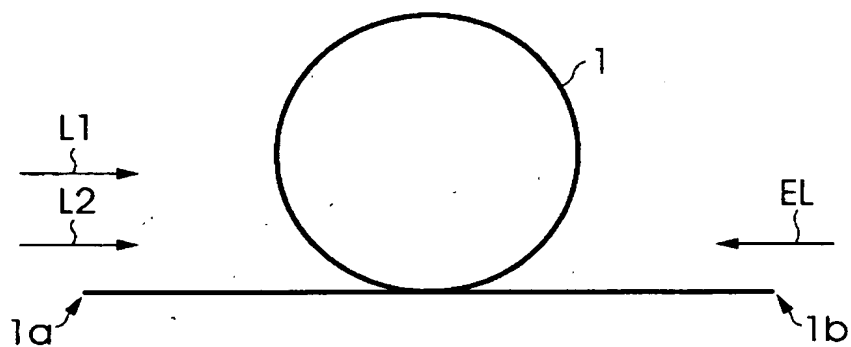
【図 2】



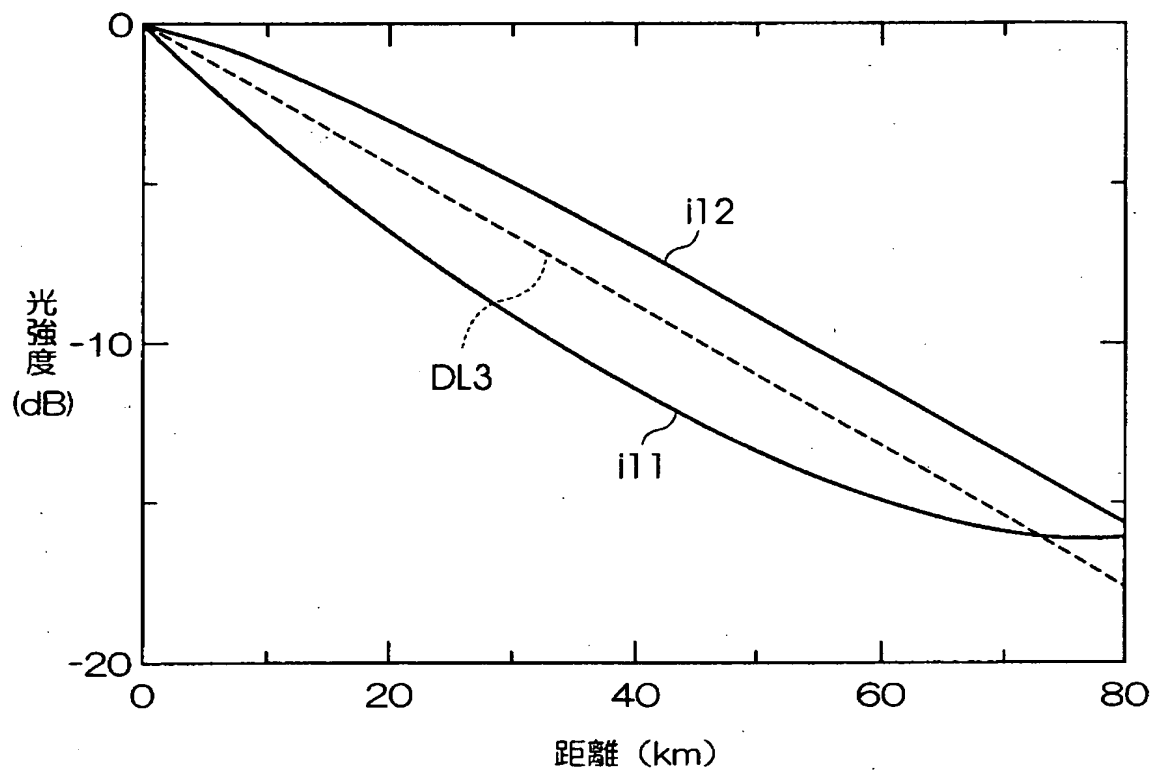
【図 3】



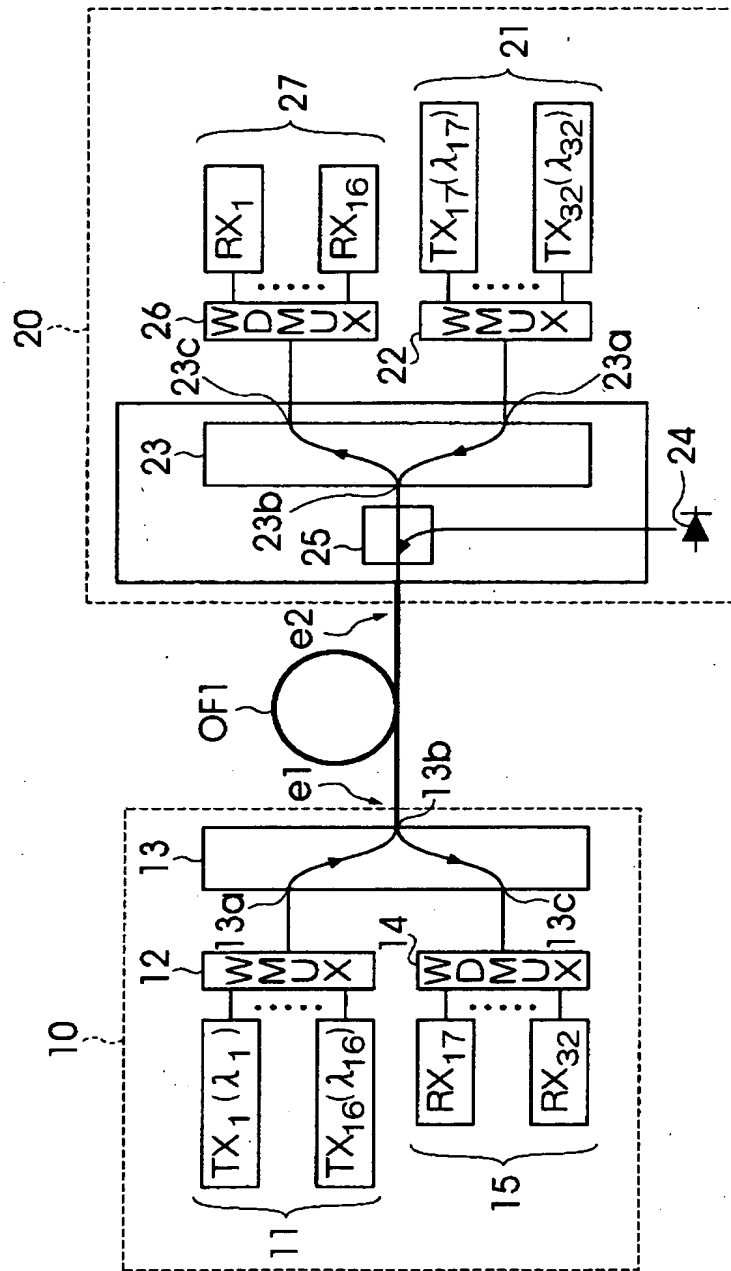
【図 4】



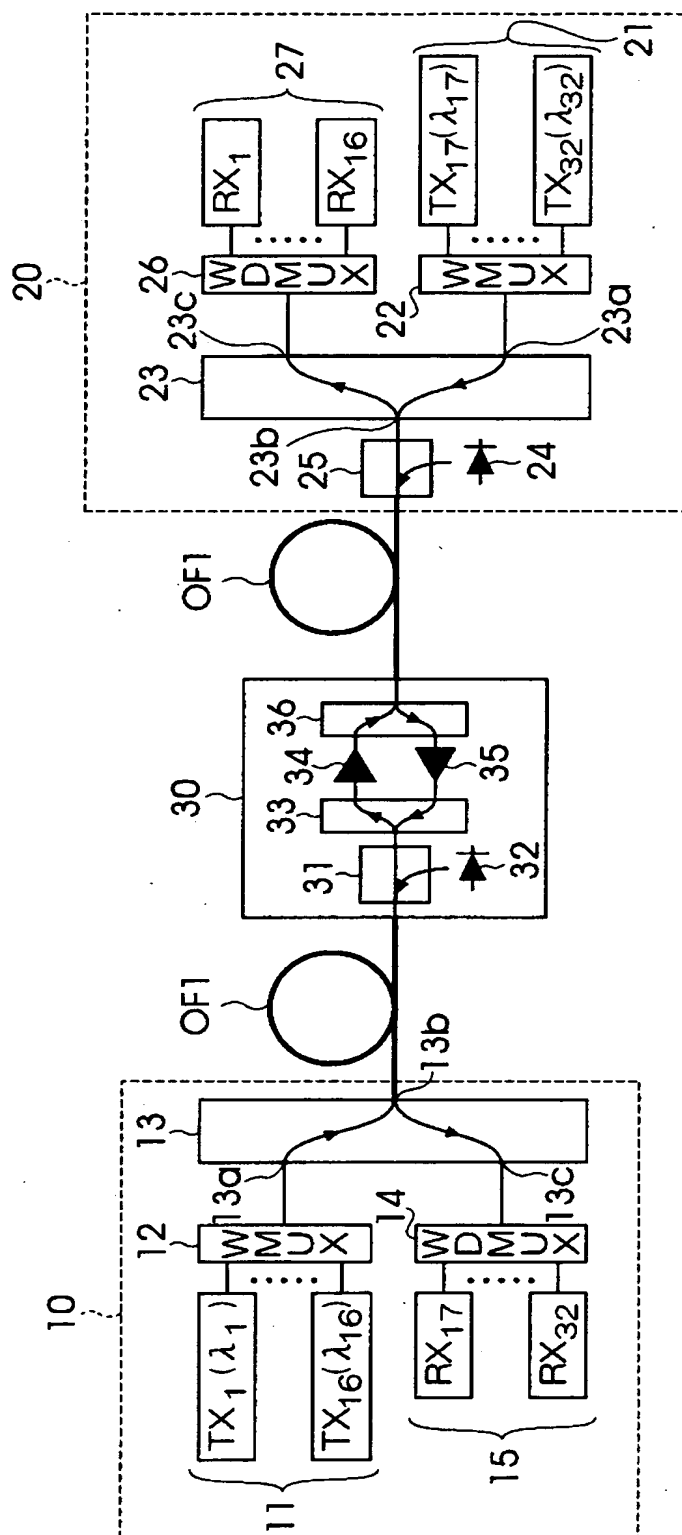
【図 5】



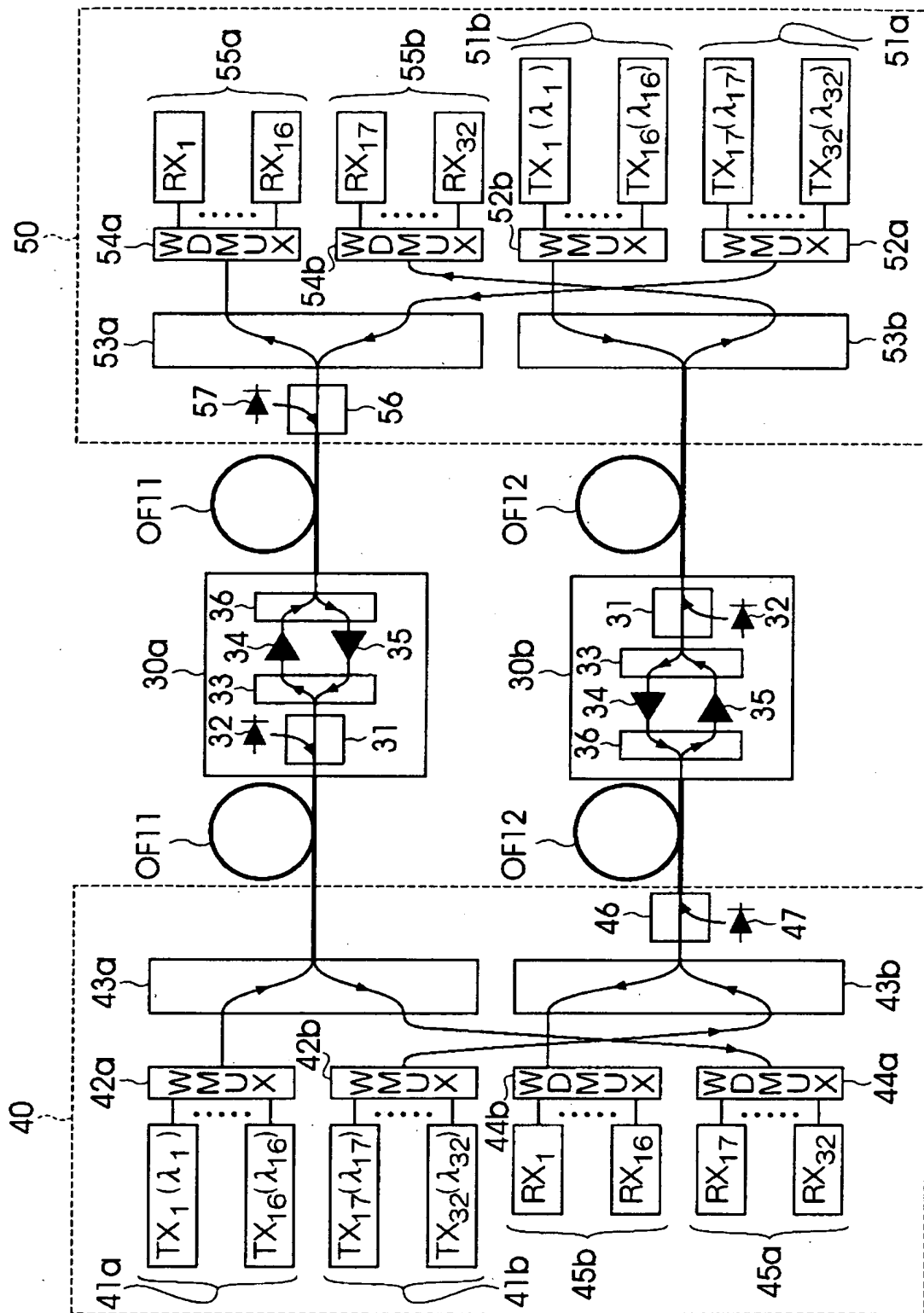
【図 6】



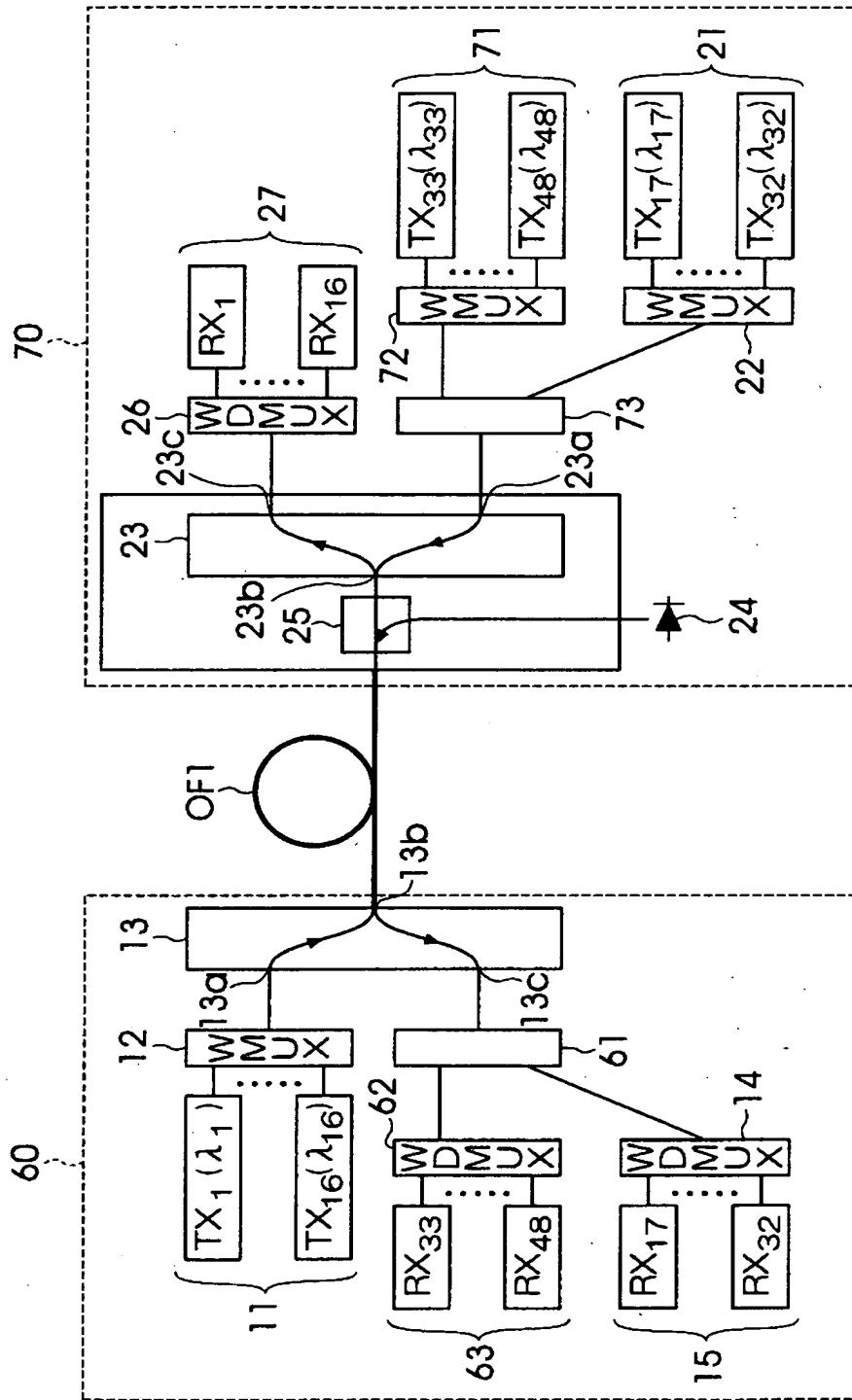
【図 7】



【図 8】



【図 9】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 雑音や非線形の影響を低減し、広い波長帯域に亘って長距離伝送を可能とする波長多重光通信システム並びに当該波長多重光通信システムで用いられる波長多重光送受信装置及び波長多重光中継器を提供する。

【解決手段】 波長多重光送受信装置 1 0 は、第 1 の波長多重光を光ファイバ OF 1 へ送信するとともに、光ファイバ OF 1 を伝送してきた第 2 の波長多重光を受信する。波長多重光送受信装置 2 0 は、第 2 の波長多重光を光ファイバ OF 1 へ送信し、且つ光ファイバ OF 1 を伝送してきた第 1 の波長多重光を受信するとともに、光ファイバ OF 1 に励起光を出力する。ここで、第 1 の波長多重光の波長帯域は、第 2 の波長多重光の波長帯域よりも約 1 0 0 n m 短波長に設定されており、励起光の波長は第 1 の波長多重光の波長帯域よりも約 1 0 0 n m 短波長側に設定される。

【選択図】 図 6

認定・付加情報

特許出願の番号	特願 2000-359559
受付番号	50001522731
書類名	特許願
担当官	金井 邦仁 3072
作成日	平成 12 年 12 月 6 日

<認定情報・付加情報>

【特許出願人】

【識別番号】	000004237
【住所又は居所】	東京都港区芝五丁目 7 番 1 号
【氏名又は名称】	日本電気株式会社

【代理人】

申請人	
【識別番号】	100108578
【住所又は居所】	東京都新宿区高田馬場 3 丁目 23 番 3 号 ORビ ル 志賀国際特許事務所
【氏名又は名称】	高橋 詔男

【代理人】

【識別番号】	100064908
【住所又は居所】	東京都新宿区高田馬場 3 丁目 23 番 3 号 ORビ ル 志賀国際特許事務所
【氏名又は名称】	志賀 正武

【選任した代理人】

【識別番号】	100101465
【住所又は居所】	東京都新宿区高田馬場 3 丁目 23 番 3 号 ORビ ル 志賀国際特許事務所
【氏名又は名称】	青山 正和

【選任した代理人】

【識別番号】	100108453
【住所又は居所】	東京都新宿区高田馬場 3 丁目 23 番 3 号 ORビ ル 志賀国際特許事務所
【氏名又は名称】	村山 靖彦

出 願 人 履 歷 情 報

識別番号 [000004237]

1. 変更年月日	1990年 8月29日
[変更理由]	新規登録
住 所	東京都港区芝五丁目7番1号
氏 名	日本電気株式会社